

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-203097  
 (43)Date of publication of application : 27.07.2001

(51)Int.Cl. H05H 1/00  
 H05H 1/46

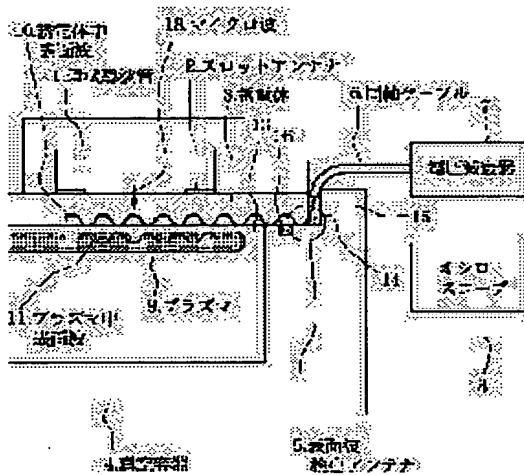
(21)Application number : 2000-007949 (71)Applicant : CANON INC  
 (22)Date of filing : 17.01.2000 (72)Inventor : KITAGAWA HIDEO  
 SUZUKI NOBUMASA

## (54) APPARATUS AND METHOD OF PLASMA DENSITY MEASUREMENT AND PLASMA PROCESSING APPARATUS AND METHOD BY USING IT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a plasma processing apparatus easy to be installed in a manufacturing facilities without disturbance in plasma and without causing a large size of the apparatus.

**SOLUTION:** The plasma processing apparatus has a tool to generate a plasma from a gas by introducing the gas into a vacuum vessel 4 with a window 13 closed with a disk-shaped dielectric substance 3 and by applying high frequency electric power via the dielectric substance 3, and is installed with a surface wave detection antenna 5 to detect a signal of the surface wave 10 propagating through the dielectric substance 3 and an oscilloscope 8 to detect electric field intensity distribution by receiving the signal of the surface wave 10 and by measuring signal strength equivalent to the electric field intensity and is provided with a density measuring tool to determine the plasma density by the detection of the electric field intensity distribution.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-203097

(P2001-203097A)

(43)公開日 平成13年7月27日 (2001.7.27)

(51)Int.Cl.<sup>1</sup>

H 05 H 1/00  
1/46

識別記号

F I

H 05 H 1/00  
1/46

マーク(参考)

A  
B

審査請求 未請求 請求項の数16 OL (全 11 頁)

(21)出願番号

特願2000-7949(P2000-7949)

(22)出願日

平成12年1月17日 (2000.1.17)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 北川 英夫

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(72)発明者 鈴木 伸昌

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(74)代理人 100086287

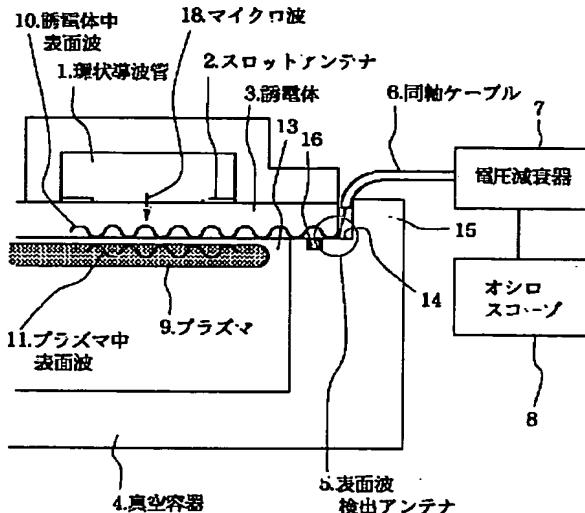
弁理士 伊東 哲也 (外1名)

(54)【発明の名称】 プラズマ密度計測装置および方法並びにこれを利用したプラズマ処理装置および方法

(57)【要約】

【課題】 プラズマの搅乱がなく、装置が大型にならず、製造装置に容易に搭載することができるようになる。

【解決手段】 円盤形の誘電体3で閉じた窓13を有する真空容器4内にガスを導入し、該誘電体3を介して高周波電力を投入することにより、該真空容器4内のガスをプラズマ化する手段を有するプラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、誘電体3中を伝播する表面波10の信号を検出する表面波検出アンテナ5と、該表面波10の信号を受けて電界強度に相当する信号強度を測定することで電界強度分布を検出するオシロスコープ8とを設け、該電界強度分布の検出によってプラズマ密度を計測する密度計測手段を備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 誘電体とプラズマの界面に発生する表面波を利用してプラズマ密度、ないし該プラズマ密度の相対変化を計測することを特徴とするプラズマ密度計測方法。

【請求項2】 誘電体から高周波電力を投入してガスをプラズマ化するに際して、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度、ないし該プラズマ密度の相対変化を計測することを特徴とするプラズマ密度計測方法。

【請求項3】 誘電体で閉じた窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有するプラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度を計測する密度計測手段を備えることを特徴とするプラズマ密度計測装置。

【請求項4】 誘電体で閉じた窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有するプラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度の相対変化を計測する密度相対変化計測手段を備えることを特徴とするプラズマ密度計測装置。

【請求項5】 前記誘電体中を伝播する表面波の信号を検出する表面波検出アンテナと、該表面波の信号を受けて電界強度に相当する信号強度を測定することで前記電界強度分布を検出するオシロスコープとを設けたことを特徴とする請求項3または4に記載のプラズマ密度計測装置。

【請求項6】 電界強度分布に影響する各パラメータを実用条件に固定してプラズマの誘電率を変化させたシミュレーションを予め行っておき、検出された前記電界強度分布に合うシミュレーション結果からプラズマ密度を求めるなどを特徴とする請求項3～5のいずれかに記載のプラズマ密度計測装置。

【請求項7】 誘電体で閉じた窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有するプラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度を計測することを特徴とするプラズマ密度計測方法。

【請求項8】 誘電体で閉じた窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有するプラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度の相対変化を計測すること

を特徴とするプラズマ密度計測方法。

【請求項9】 前記誘電体中を伝播する表面波の信号を表面波検出アンテナで検出し、該表面波の信号を受けるオシロスコープにて電界強度に相当する信号強度を測定することで前記電界強度分布を検出することを特徴とする請求項2、7または8のいずれかに記載のプラズマ密度計測方法。

【請求項10】 電界強度分布に影響する各パラメータを実用条件に固定してプラズマの誘電率を変化させたシミュレーションを予め行っておき、検出された前記電界強度分布に合うシミュレーション結果からプラズマ密度を求めるなどを特徴とする請求項2、7、8または9のいずれかに記載のプラズマ密度計測方法。

【請求項11】 誘電体窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体窓を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有する装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を計測する手段と、該計測手段により得られた結果を処理条件にフィードバックする手段とを有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項12】 前記誘電体中を伝播する表面波の信号を検出する表面波検出アンテナと、該表面波の信号を受けて電界強度に相当する信号強度を測定することで前記電界強度分布を検出するオシロスコープまたはピーク電圧測定回路と、該電界強度分布をマイクロ波電源出力にフィードバックする制御回路を設けたことを特徴とする請求項11に記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】 前記誘電体中を伝播する表面波の信号を検出する表面波検出アンテナと、該表面波の信号を受けて電界強度に相当する信号強度を測定することで前記電界強度分布を検出するオシロスコープまたはピーク電圧測定回路と、該電界強度分布をマイクロ波分配器にフィードバックする制御回路を設けたことを特徴とする請求項11に記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】 誘電体窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体窓を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有する装置において、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度またはその相対変化を計測し、処理条件にフィードバックすることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項15】 前記誘電体中を伝播する表面波の信号を表面波検出アンテナで検出し、該表面波の信号を受けて電界強度に相当する信号強度を測定することで前記電界強度分布をオシロスコープまたはピーク電圧測定回路で検出し、該電界強度分布をマイクロ波電源出力にフィードバックして制御することを特徴とする請求項14に記載のプラズマ処理方法。

【請求項16】 前記誘電体中を伝播する表面波の信号を表面波検出アンテナで検出し、該表面波の信号を受け

て電界強度に相当する信号強度を測定することで前記電界強度分布をオシロスコープまたはピーク電圧測定回路で検出し、該電界強度分布をマイクロ波分配器にフィードバックして制御することを特徴とする請求項14に記載のプラズマ処理方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、誘電体を介して高周波電力を導入してプラズマを生成する装置における、プラズマ密度の計測装置および方法に関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】従来のプラズマ密度の計測方法は、プラズマ中にプローブを挿入するものが主流であった。例えば、プラズマ工学の基礎（赤崎正則、村岡克紀、渡辺征夫、蛍原健治共著、産業図書出版、p. 207）には、ラングミュアプローブを用いたプラズマ密度および温度の測定方法が記述されている。ラングミュアプローブを用いたプラズマ密度測定装置の構成を図5に示す。図5において、301は環状導波管、302はスロットアンテナ、303は誘電体、304は誘電体303で閉じた窓を有する真空容器、305はプラズマ、306はラングミュアプローブ、307は電流計、308は電源である。ラングミュアプローブ306では、プラズマ305中に挿入したプローブに電圧を印加し、プローブに流入

$$n_e = \epsilon_0 m_e (1 + \epsilon_r) (2\pi f_{sw}/c)^2$$

プラズマ吸収プローブでは、ラングミュアプローブの持つ問題点のうち、腐食性ガスプラズマによるプローブのエッチングや堆積性ガスプラズマによるプローブ表面への絶縁膜の堆積、の2点の影響は大幅に改善され、また処理室内への金属汚染の導入は全くなくなる。しかし、プラズマの搅乱の問題は依然未解決である。特に製造装置に使用されるプラズマのプローブ挿入（in-situ）モニタリングを行う場合には、プローブの挿入は、処理の均一性の悪化につながるため、実質的に不可能となる。そこで、非接触でプラズマ状態をモニタリングする手法が幾つか提案されている。

【0006】非接触型プラズマ密度測定方法として、特開平4-256845号公報には、マイクロ波干渉型のプラズマ密度計測方法が記載されている。本方法は、プラズマ中を伝播するマイクロ波が、大気中を伝播するマイクロ波と比較して位相がずれることを利用したものである。プラズマ中を通過した電磁波の位相差 $\Delta\Phi$ はプラズマ密度 $n_e$ と以下の関係にある。

##### 【0007】

##### 【数1】

するプラズマ305中の荷電粒子を電流として検出する。プローブ電流の電圧依存性カーブから、プラズマの電子密度および電子温度等を求める事ができる。

【0003】しかし、ラングミュアプローブ306は電流を測定するためプローブ先端が金属製であることから、腐食性ガスプラズマによるプローブのエッティングや堆積性ガスプラズマによるプローブ表面への絶縁膜の堆積、処理室内への金属汚染の導入、プラズマ305の搅乱などの問題点があった。

【0004】上記問題点を解決するため、1998年秋季第59回応用物理学会学術講演会15p-C-17では、汚染に強いプローブとして、プラズマ吸収プローブが提案されている。このプローブの構造および原理は以下の通りである。まず、先端を閉じた誘電体管をプラズマ中に挿入し、誘電体管内には同軸ケーブルを挿入する。同軸ケーブルに高周波を印加し、その周波数を変化させると、プラズマ密度に対応した周波数で、誘電体とプラズマ界面に表面波プラズマが発生し、高周波パワーの吸収が起こる。この吸収が起こる周波数を測定することで、プラズマ密度を算出することができる。プラズマ密度 $n_e$ と吸収周波数 $f_{sw}$ との関係は、以下の式で表される。

##### 【0005】

##### 【数1】

$$\Delta\Phi = 1 \omega_{pe}^2 / 2 c \omega_0$$

$$\omega_{pe}^2 = e^2 n_e / \epsilon_0 m_e$$

ここで、 $l$ は通過するプラズマの長さ、 $c$ は光速、 $\omega_0$ は真空中の電磁波の波長、 $e$ は電化率、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率である。

【0008】この方法では、発生させたマイクロ波を二つの行路に分割し、一方の行路はプラズマ中を通過させた後、再び一つにまとめ干渉させる。プラズマ中を伝播するマイクロ波はその誘電率に応じて位相が変化するため、大気中を伝播したマイクロ波と干渉させ、その波形を解析することにより、プラズマ中の位相の変化からプラズマの誘電率が求まり、結果としてプラズマ密度が得られる。また、類似の手法として、レーザーの干渉を用いた方法が、特開平6-128764号公報に開示されている。

【0009】上記手法は完全に非接触でありプラズマの搅乱は全くない。しかし、計測装置が非常に大きくなり、またチャンバの対向する位置に窓を設ける必要があるなどの制約もあり、更にマイクロ波の行路の調整が難しいため、製造装置への搭載は非常に困難である。

##### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】以上の様に、プローブを用いたプラズマ密度測定方法では、プラズマの搅乱の問題を避ける事ができなかった。また、マイクロ波干渉を用いたプラズマ密度計測方法では、プラズマに非接触であるため搅乱の問題は回避されるが、計測装置が大きくなる等の問題があるため、製造装置への搭載は困難であった。

【0011】上記従来の問題にかんがみ、本発明は、プラズマの搅乱がなく、装置が大型にならず、製造装置に容易に搭載することができるプラズマ密度計測装置およびプラズマ密度計測方法並びにこれを利用したプラズマ処理装置および方法を提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、プラズマ密度測定方法において、誘電体とプラズマの界面に発生する表面波を利用してプラズマ密度、ないし該プラズマ密度の相対変化を計測することを特徴とするか、または誘電体から高周波電力を投入してガスをプラズマ化するに際して、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度、ないし該プラズマ密度の相対変化を計測することを特徴とする。

【0013】また、本発明は、プラズマ密度計測装置において、誘電体で閉じた窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有するプラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度を計測する密度計測手段を備えること、またはプラズマ密度の相対変化を計測する密度相対変化計測手段を備えることを特徴としてもよい。

【0014】また、本発明は、プラズマ密度計測方法において、誘電体で閉じた窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有するプラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度を計測すること、またはプラズマ密度の相対変化を計測することを特徴としてもよい。

【0015】また、本発明は、プラズマ処理装置において、誘電体窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体窓を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有する装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を計測する手段と、該計測手段により得られた結果を処理条件にフィードバックする手段を有することを特徴とする。また、本発明はプラズマ処理方法において、誘電体窓を有する容器内にガスを導入し、該誘電体窓を介して高周波電力を投入することにより、該容器内のガスをプラズマ化する手段を有する装置において

て、該誘電体中を伝播する表面波の電界強度分布を検出することによりプラズマ密度またはその相対変化を計測し、処理条件にフィードバックすることを特徴とする。

【0016】

【発明の実施の形態および作用】本発明の発明者は、従来のプラズマ密度測定装置および方法における上述した問題点を解決し、上記目的を達成すべく鋭意努力した結果、誘電体で閉じた窓を有する真空容器内へ該誘電体を介して高周波を導入し、プラズマを生成するプラズマ処理装置においては、誘電体の内部を伝播する表面波の電界強度分布を検出する事により、プラズマ密度およびその相対的変動の測定が可能であるという知見を得た。

【0017】本発明に係るプラズマ密度計測装置および方法の実施の形態について、図1を用いて説明する。図1は、本発明の実施の形態に係る表面波干渉型プラズマ処理装置を模式的に示している断面図である。図において、1は環状導波管、2はスロットアンテナ、3は円盤形の誘電体、4は真空容器、5は表面波検出アンテナ、6は同軸ケーブル、7は電圧減衰器、8はオシロスコープ、9はプラズマ、10は誘電体中の表面波、11はプラズマ中の表面波を示している。

【0018】真空容器4は、誘電体3で閉じられた窓13と、該窓13の周囲の平らな環状座面14と、該環状座面14を囲む環状凸壁15とを有し、該窓13の周囲に設けた環状溝にOリング16が嵌入され、Oリング16に誘電体3の内面が接して外部に対し内部がシールされている。また、真空容器4は、環状凸壁15の内周面と誘電体3の外周面との間に空隙があり、この空隙に同軸ケーブル6の先端が導入されている。

【0019】まず、真空容器4は、不図示のターボ分子ポンプにより内部が排気された後、その内部にガスが導入され、不図示の可変コンダクタンスバルブを調整して、所定の圧力に設定される。次に、誘電体3の表面側に同心配置した環状導波管1の下部に開口されたスロットアンテナ2より、誘電体3を介して、真空容器4内に2.45GHzマイクロ波18が放射される。真空容器4中にプラズマ9が発生すると、一定の条件下においては、誘電体3とプラズマ9の界面に表面波10、11が発生し、界面に沿って伝播する。表面波10は誘電体3中に存在し、表面波11はプラズマ9中に存在しており、両表面波10、11はその界面で連続する電磁波である。

【0020】また、界面から垂直方向に離れるに従って、両表面波10、11の強度は急激に減衰する。即ち、誘電体3内の表面波10は、プラズマ9側の誘電体3表面に局在し、誘電体3の端を節とした定在波を形成している。

【0021】この表面波10の信号を、誘電体3の表面に設置した表面波検出アンテナ5により検出する。表面波検出アンテナ5の詳細図を図2および図3に示す。図

2および図3において、図1と同一部分に同一符号をつけて示してあり、21は信号引出しケーブルである。表面波検出アンテナ5は、図に示すように、径方向および周方向にそれぞれ複数個設置する。複数個の表面波検出アンテナ5を一つの基板上にアセンブリ化すると、取り扱いが容易となり、更に好ましい。表面波検出アンテナ5の形状は、平板型、ループ型などが考えられるが、表面波信号を検出できる形状であれば、いかなる形状でも良い。信号は、表面波検出アンテナ5から同軸ケーブル6を介して装置外に引出され、オシロスコープ8を用いてその信号強度が測定される。また、オシロスコープの代りに、例えばピーク値整流電圧計のような、高周波のピーク電圧検出回路を用いても同様の効果を得ることができる。表面波信号の強度が大きい場合には、必要に応じて電圧減衰器7を設置する。複数の各アンテナ5から得

$$e^2 n_e / \epsilon_0 m_e = \omega_{SW}^2 \left[ 1 - \frac{1}{(\omega_{SW}^2 / 2c^2 \kappa^2 \pm \sqrt{\{\omega_{SW}^4 / 4c^4 \kappa^4 + \gamma_d^2 / \epsilon_d^2 \kappa^2 \cdot \tanh^2(\gamma_d \cdot d)\}})} \right]$$

ここで、 $n_e$  は電子密度、 $\epsilon_0$  は真空中の誘電率、 $m_e$  は電子の質量、 $\epsilon_d$  は誘電体の比誘電率、 $e$  は電子の電荷、 $c$  は光速、 $d$  は誘電体の厚さ、 $\kappa$  は表面波の波数、 $\gamma_d$  は誘電体中での電磁波の減衰係数である。また、表面波の周波数  $f_{sw} = \omega_{sw} / 2\pi$  は、入射する高周波の周波数と同じであり、本例の場合は 2.45 GHz である。 $\kappa$  は、m 次 Bessel 関数の  $n$  乗根  $j_{en}$  と誘電体の半径  $R$  を用いて、以下の様に記述される。

$\kappa_{en} = j_{en} / R$   
 $m, n$  は表面波のモードを表しており、表面波の径方向と周方向の定在波の腹の数に一致している。また、減衰係数  $\gamma_d$  は、以下の様に与えられる。

【0024】

【数4】

$$\gamma_d = -\sqrt{(\kappa^2 - \epsilon_d \omega_{SW}^2 / c^2)}$$

以上に示した様に、表面波のモードと電子密度に相関関係があるため、誘電体3中を伝播する表面波10の径方向と周方向の波長を測定し、表面波10のモードを決定することにより、誘電体3の表面で生成されているプラズマ9の密度を、非接触で且つリアルタイムでモニタリングすることが可能となる。

【0025】前記理論は单一モードの表面波のみが励起される理想的な場合に適用可能な理論であるが、実際のプラズマ源では、複数のモードが重なった表面波が励起されており、单一モードの線形的な重ね合せでは説明することができない。そこで、現実的には、シミュレーションより得られた電界分布と実際の電界分布を比較して、プラズマ密度を求める必要がある。即ち、表面波電界分布に影響する各パラメータ（窓の径・誘電率、スロ

られた信号強度が、該アンテナ5の位置での表面波10の電界強度に相当する。次に、複数のアンテナ5から得られた信号を元に、表面波10の、径方向および周方向の波長が計算される。この計算で得られた波長より、表面波10の定在波の径方向および周方向の腹の数を求めることができる。

【0022】誘電体が円盤形状であり、中央に単一のスロットアンテナを設置した場合の表面波プラズマに関しては、参考文献 (Surface Wave Eigenmodes in a Finite Area Plane Microwave Plasma I. Ghanashev, M. Nagatsu and H. Sugai JJAP Vol. 36(1997) p. 337) に理論的な考察がなされており、TM波に対して以下のように求められる。

【0023】

【数3】

ットの位置・形状など)を実用条件に固定してプラズマの誘電率を変化させたシミュレーションを予め行って置いて、誘電体の端に現れる電界分布をモニタし、測定された分布に合うシミュレーション結果から電子密度を求めるという手法である。シミュレーションより得られた電子密度と電界強度の相関のデータベースを用いて、測定した電界強度から即座に電子密度を求めることが可能となる。

【0026】以上の様に、放電条件を固定してシミュレーションを行い、電子密度と表面波電界強度の相関が求められれば、電子密度を正確に決定することができる。しかし、実際の装置においては、誘電体の削れや真空容器内への膜の堆積等により放電条件が徐々に変動し、当初求めた電子密度と電界強度の相関関係が徐々にずれてくるため、電子密度の絶対値を長期間に渡って正確に求めることは困難である。そこで実際には、電界強度を常時モニタリングし、その経時変化から電子密度の相対的変動を捕らえる事になる。例えば誘電体がエッチングされ、徐々にその厚さが薄くなった場合、導入する高周波電力の損失が減るため、プラズマ密度は上昇する。この変動は、表面波電界強度の増加として捕らえることができる。また、局所的に膜が堆積してプラズマ密度の低下が発生した場合、プラズマ密度が低下した方向の表面波電界強度も低下する。そこで、周方向に複数個のアンテナを設置し、その電界強度をモニタリングすることで、均一性異常を検出することが可能となる。上記の計測を実施する際の表面波検出アンテナの配置の一例を底面図である図4に示す。図において、2は上面に位置するスロットアンテナ、3は誘電体、5は表面波検出アンテナである。図では、スロットアンテナ2から30°回転し

た位置に表面波検出アンテナ5が設置されているが、表面波電界強度が最も強い位置での測定を行えば、最も高い感度で変動を検出することができる。電界強度の強い位置は、プラズマ9の発光パターン観察またはシミュレーションにより求めることができる。

【0027】本発明の実施の形態に係る計測装置は、基本的には誘電体3に設置した表面波検出用アンテナ5と信号引出し用の同軸ケーブル6、および市販のオシロスコープ8で構成され、その装置構成が非常に簡単であることから、放電原理が誘電体3を介して高周波を導入する形式であり、誘電体とプラズマ界面に表面波が励起されているものであれば、いかなる構造のプラズマ源であっても容易に適用できるという特徴を持つ。

【0028】更に、本計測装置を用いて計測されたプラズマ密度の相対変動や面内分布を、プロセス条件にフィードバックすることにより、エッチング速度の経時変化や面内分布の変動を高い精度で一定に保つことが可能である。

【0029】プラズマ密度の経時変化を計測してプロセス条件にフィードバックするための装置構成の一例を、図6に示す。図において、601は真空容器、602はプラズマ、603は誘電体窓、604は環状導波管、605は導波管、606は整合器、607はマイクロ波発振器、608は表面波検出アンテナ、609は電圧減衰器、610はピーク電圧検出回路、611はマイクロ波発振器制御部を示している。放電中のプラズマ密度は、誘電体表面の表面波信号として表面波検出アンテナ608により検出され、信号のピーク強度に比例した電圧値として、ピーク電圧検出回路610から出力される。交流信号である表面波信号のピーク電圧を検出する回路としては、オシロスコープを用いなくても、例えば簡便なピーク値整流型電圧計を用いる事により、ピーク強度に比例した電圧の出力を得ることができるが、これ以外にも、高周波のピーク電圧を検出する回路であれば、どのような回路でも構わない。マイクロ波発振器制御部611では、複数のアンテナの信号強度の分布をシミュレーション結果と比較することにより、プラズマ密度が求められ、密度の設定値と比較される。密度が低い場合には、マイクロ波パワーを増加させ、密度が高い場合には、マイクロ波パワーを減少させる方向で制御を行う。

【0030】プラズマ密度の面内分布を計測してプロセス条件にフィードバックするための装置構成の一例を、図7に示す。図において、701は真空容器、702はプラズマ、703は誘電体窓、704は環状導波管、705は導波管、706は整合器、707はマイクロ波発振器、708は第一の表面波検出アンテナ、709は第二の表面波検出アンテナ、710は第一の電圧減衰器、711は第二の電圧減衰器、712はピーク電圧検出回路、713はマイクロ波分配器制御部、714はマイクロ波分配器を示している。第一および第二の表面波検出

アンテナ708、709は、マイクロ波分配器714により2つに分岐した導波管が、環状導波管704に接続された方向の誘電体窓703外周部に設置される。

【0031】放電中のプラズマ密度の分布は、誘電体窓703表面の表面波信号の分布として第一の表面波検出アンテナ708および第二の表面波検出アンテナ709により検出され、信号のピーク強度に比例した電圧値として、ピーク電圧検出回路712から出力される。マイクロ波分配器制御部713では、第一の表面波検出アンテナ708と第二の表面波検出アンテナ709の信号強度を比較し、両方の信号強度が等しくなる様にマイクロ波分配器714の調整を行う。図8は、マイクロ波分配器714における分配比率調整方法を模式的に示したものであり、H分岐の中央に稼動分配板を設置したものである。図において、801は導波管のH分岐、802は稼動分配板、803はマイクロ波入口、804は第一のマイクロ波出口、805は第二のマイクロ波出口である。稼動分配板802を動かすことにより、導波管断面積が大きくなった方向の導波管により多くのマイクロ波電力が供給される。例えば、第一のマイクロ波出口804側の表面波電界強度、即ちプラズマ密度が減少した時は、稼動分配板802を第二のマイクロ波出口805側に動かすことにより、第一のマイクロ波出口804側のマイクロ波供給電力が増加する。その結果、第一のマイクロ波出口804側のプラズマ密度が上昇し、周方向に均一なプラズマが実現される。本例では導波管の分岐が2つの場合を例示したが、3つ以上に分岐して導入する場合にも、同様の効果を得ることができる。

【0032】

【実施例】以下実施例を挙げて本発明に係るプラズマ密度測定装置およびプラズマ密度測定方法をより具体的に説明するが、本発明は、これらの実施例によって限定されるものではない。

【0033】(実施例1) 本発明の第1の実施例について、表面波干渉型プラズマ処理装置におけるプラズマ密度を測定対象とする場合を例として説明する。本実施例に係る表面波プラズマ処理装置の構造は、図1に示したものと同様である。誘電体3は、直径280mm、厚さ14mmの円盤形の石英を用いた。また、スロットアンテナ2は、45°毎に8本のスロットを放射状に配置した形状のものを用いた。さらに、誘電体3の周辺部の大気側(リング16の外側)に、表面波検出アンテナ5を設置し、ケーブル6を引出して1/1000の電圧減衰器7に接続し、更にその出力をオシロスコープ8へと接続した。表面波検出アンテナ5は、誘電体3の半径135mmの位置で、周方向に5mm間隔で20個設置した。

【0034】まず、不図示のターボ分子ポンプにより排気された真空容器4内に200scm<sup>3</sup>(標準状態における体積cm<sup>3</sup>)のArガスを導入し、不図示の可変コ

ンダクタンスバルブを調整して、圧力を100Paに設定した。次に、不図示の2.45GHzのマイクロ波電源より1kWのマイクロ波を発振させ、環状導波管1の下部に開口されたスロットアンテナ2より、誘電体3を介して、真空容器4内にマイクロ波18を放射し、表面波プラズマ9を発生させた。

【0035】次に、オシロスコープ8により、表面波信号強度を測定した。周方向の電圧測定の結果、スロット間に3つのピークが観測された。シミュレーション結果と、上記電界強度分布パターンを比較したところ、電子密度が $1.8 \times 10^{12} / \text{cm}^3$  の場合に最も良い一致を見た。

【0036】次に、真空容器4内にラングミュアプローブを挿入し、誘電体3から10mm離れた点でのプラズマ密度の計測を行った。その結果、 $6.0 \times 10^{11} / \text{cm}^3$  のプラズマ密度が得られ、計算より求められた誘電体3近傍でのプラズマ密度の数値を裏付ける結果が得られた。

【0037】(実施例2)本発明の第2の実施例について、表面波干渉型プラズマ処理装置におけるプラズマ密度を測定対象とし、周方向のプラズマの均一性を測定した場合を例として説明する。本実施例に係る表面波プラズマ処理装置の構造は、図1に示したものと同様である。誘電体3は、直径280mm、厚さ14mmの円盤形の石英を用いた。また、スロットアンテナ2は、60°毎に6本のスロットを放射状に配置した形状のものを用いた。さらに、誘電体3の周辺部の大気側(リング16の外側)に、表面波検出アンテナ5を設置し、ケーブル6を引出して1/1000の電圧減衰器7に接続し、更にその出力をオシロスコープ8へと接続した。表面波検出アンテナ5は、図4に示したのと同様に周方向に60°おきに6個、スロットアンテナ2より30°回転した位置に設置した。

【0038】まず、不図示のターボ分子ポンプにより排気された真空容器4内に200 sccmのArガスを導入し、不図示の可変コンダクタンスバルブを調整して、圧力を10Paに設定した。次に、不図示の2.45GHzのマイクロ波電源より1kWのマイクロ波を発振させ、環状導波管1の下部に開口されたスロットアンテナ2より、誘電体3を介して、真空容器4内にマイクロ波18を放射し、表面波プラズマ9を発生させた。表面波プラズマ9の発光パターンを覗き窓から目視観察すると、径方向には2個、周方向には18個の発光強度の強い部分が観察された。

【0039】次に、オシロスコープ8により、表面波信号強度を測定した。周方向に等角度間隔にて設定した6つの測定点の電圧測定値は、測定点1で122mV、測定点2で124mV、測定点3で120mV、測定点4で119mV、測定点5で114mV、測定点6で120mVであった。測定は、誘電体3の中心より135m

mの位置で行った。この結果より、測定点2の位置で電界強度が強く、測定点5の位置で電界強度が弱いという結果が得られた。

【0040】電界強度の均一性は、3. 3%であった。続いて、装置内に、8インチSi基板上にフォトレジストを5000Å塗布したウエハを設置し、同様のArプラズマを発生させて、Arプラズマによるフォトレジストのエッチング速度の面内分布を測定した。その結果、電界強度測定で強度の強かった測定点2の方向でエッチング速度が高く、電界強度の低かった測定点5の方向でエッチング速度が低かった。エッチング速度の面内均一性は、2. 6%という結果が得られた。

【0041】以上の様に、エッチング速度の面内分布と電界強度の分布とに強い相関があるため、電界強度分布をモニタリングすることにより、エッチング後のウエハの膜厚測定を行わなくても、エッチング速度の均一性を予測する事が可能となった。

【0042】(実施例3)本発明の第3の実施例について、表面波干渉型プラズマ処理装置におけるプラズマ密度を計測対象とし、プラズマ密度の経時変化を測定した場合を例として説明する。本実施例に係る表面波プラズマ処理装置の構造は、図1に示したものと同様である。誘電体3は、直径280mm、厚さ14mmの円盤形の石英を用いた。また、スロットアンテナ2は、60°毎に6本のスロットを放射状に配置した形状のものを用いた。さらに、誘電体3の周辺部の大気側(リング16の外側)に、表面波検出アンテナ5を設置し、ケーブル6を引出して1/1000の電圧減衰器7に接続し、更にその出力をオシロスコープ8へと接続した。

【0043】まず、不図示のターボ分子ポンプにより排気された真空容器4内に200sccmのArガスを導入し、不図示の可変コンダクタンスバルブを調整して、真空容器4内の圧力を10Paに設定した。次に、不図示の2.45GHzのマイクロ波電源より1kWのマイクロ波を発振させ、環状導波管1の下部に開口されたスロットアンテナ2より、誘電体3を介して、真空容器4内にマイクロ波18を放射し、表面波プラズマ9を発生させた。表面波プラズマ9の発光パターンを覗き窓から目視観察すると、径方向には2個、周方向には18個の発光強度が強い部分が観察された。

【0044】次に、オシロスコープ8により、表面波信号強度を測定した。電圧測定値は120mVであった。測定は、誘電体3の中心より135mmの位置で行った。続いて、装置内に、8インチのSi基板上にフォトレジストを5000Å塗布したウエハを設置し、同様のArプラズマを発生させて、Arプラズマによるフォトレジストのエッチング速度を測定した。その結果、200Å/分という値が得られた。次に、断続的に200時間のAr放電を行った。放電中に表面波電界強度は徐々に上昇し、200時間経過後には、124mVとなり、

当初より3.3%増加した。この時のフォトレジストのエッチング速度は211Å/分であった。以上の様に、エッチング速度と電界強度とに強い相関があるため、電界強度をモニタリングすることにより、エッチング後のウエハの膜厚測定を行わなくても、エッチング速度の変動を予測する事が可能となった。

【0045】(実施例4) 本発明の第4の実施例として、表面波干渉型プラズマ処理装置に適用し、プラズマ密度の経時変化を測定してマイクロ波パワーにフィードバックする装置を作成した例を示す。表面波プラズマ処理装置の構造は、図6に示したものと同様である。誘電体窓は、直径280mm、厚さ14mmの石英を用いた。また、スロットアンテナは、60°毎に6本のスロットを放射状に配置した形状のものを用いた。さらに、誘電体窓周辺部の大気側(o-ringの外側)に、表面波検出アンテナを設置し、ケーブルを引出して1/1000の電圧減衰器を介してピーク電圧検出回路へと接続し、更にその出力をマイクロ波発振器制御部に接続した。マイクロ波発振器制御部内にはPID制御回路を組込み、表面波信号強度が常に一定になる様にマイクロ波出力を変化させた。

【0046】まず、不図示のターボ分子ポンプにより排気された真空容器内にC4F8/Arガスを15/185scmの流量で導入し、不図示の可変コンダクタンスバルブを調整して、圧力を10Paに設定した。

【0047】次に、不図示の2.45GHzのマイクロ波電源よりマイクロ波を発振させ、環状導波管下部に開口されたスロットアンテナより、誘電体窓を介して、真空容器内にマイクロ波を放射し、表面波プラズマを発生させた。マイクロ波発振器は、表面波信号強度が150mVで一定になる様にその出力を制御した。実際の出力値は1.45kWであった。表面波プラズマの発光パターンを覗き窓から目視観察すると、径方向には2個、周方向には18個の発光強度が強い部分が観察された。装置内に、8インチSi基板上にフォトレジストを500nm塗布したウエハを設置し、同様のC4F8/Arプラズマを発生させて、C4F8/Arプラズマによるフォトレジストのエッチング速度を測定した。その結果、208nm/minという値が得られた。

【0048】次に、断続的に200時間のC4F8/Ar放電を行った。その間に、マイクロ波の出力値は1.45kWから1.37kWへと徐々に減少したが、表面波信号強度は150mVで常に一定であった。200時間放電後に石英窓の表面を観察すると、約2mmエッチングされ板厚が減少していた。この状態でフォトレジストのエッチング速度を再度測定した所、210nm/minであった。また、フィードバック制御を中止し、当初のマイクロ波出力である1.45kWを印加した所、表面波信号強度は162mVに上昇し、それに伴ってフォトレジストのエッチング速度も228nm/minへ

と上昇した。以上の様に、表面波電界強度を常に一定に保つ様にマイクロ波出力を調節することにより、エッチング速度を常に一定に保つ事が可能となった。

【0049】(実施例5) 本発明の第5の実施例として、表面波干渉型プラズマ処理装置に適用し、プラズマ密度の面内均一性を測定してマイクロ波分配器にフィードバックする装置を作成した例を示す。表面波プラズマ処理装置の構造は、図7に示したものと同様である。誘電体窓は、直径280mm、厚さ約14mmの石英を用いた。また、スロットアンテナは、60°毎に6本のスロットを放射状に配置した形状のものを用いた。さらに、誘電体窓周辺部の大気側(o-ringの外側)に、2つの表面波検出アンテナを設置し、ケーブルを引出して1/1000の電圧減衰器を介してピーク電圧検出回路へと接続し、更にその出力をマイクロ波分配器制御部に接続した。マイクロ波分配器制御部内にはPID制御回路を組み、2つのアンテナの表面波信号強度が常に同じになる様にマイクロ波分配板の角度を変化させた。

【0050】まず、不図示のターボ分子ポンプにより排気された真空容器内にC4F8/Arガスをそれぞれ15/185scmの流量で導入し、不図示の可変コンダクタンスバルブを調整して、圧力を10Paに設定した。次に、不図示の2.45GHzのマイクロ波電源よりマイクロ波を発振させ、環状導波管下部に開口されたスロットアンテナより、誘電体窓を介して、真空容器内にマイクロ波を放射し、表面波プラズマを発生させた。ここで、誘電体窓は、意図的に板厚傾斜を持ったものを準備し、2つのマイクロ波導入部の一方で誘電体厚が厚く、一方で誘電体厚が薄くなる様に窓を設置した。板厚は、厚い部分で14mm、薄い部分で12mmであった。

【0051】まず、分配器の制御を行わない状態で表面波プラズマの発光パターンを覗き窓から目視観察すると、誘電体窓が薄い方向で発光強度が強く、厚い方向で弱かった。この状態で、装置内に、8インチSi基板上にフォトレジストを500nm塗布したウエハを設置し、同様のC4F8/Arプラズマを発生させて、C4F8/Arプラズマによるフォトレジストのエッチング速度を測定した。その結果、誘電体窓が薄い場所では252nm/min、厚い場所では218nm/minという値が得られ、エッチング速度に大きな差が見られた。

【0052】次に、分配器の制御を行って表面波プラズマの発光パターンを覗き窓から目視観察すると、誘電体窓が薄い方向と厚い方向のプラズマ発光強度はほぼ同じとなった。この時のマイクロ波分配板の角度は、誘電体窓が薄い側に12°傾斜していた。この状態で、装置内に、8インチSi基板上にフォトレジストを500nm塗布したウエハを設置し、同様のC4F8/Arプラズマ

マを発生させて、C4F8/Arプラズマによるフォトレジストのエッチング速度を測定した。その結果、誘電体窓が薄い場所では238 nm/min、厚い場所では233 nm/minという値が得られエッチング速度の差が大幅に改善された。

【0053】以上の様に、表面波電界強度を面内で一定に保つ様にマイクロ波分配器を調節することにより、エッチング速度の均一性を大幅に改善すると共に、常に一定に保つ事が可能となった。

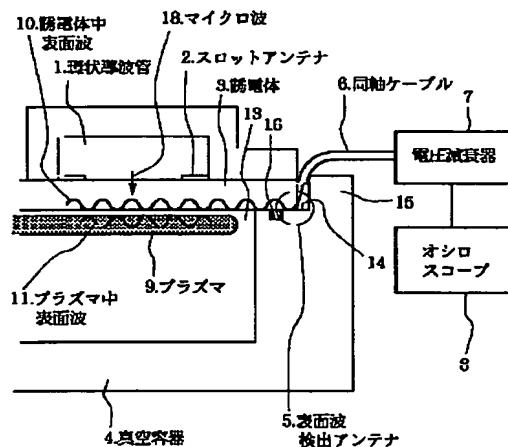
[0054]

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、誘電体表面の表面波を利用してプラズマ密度を計測する手段か、またはプラズマ密度の相対変化を計測する手段を備えることにより、プラズマの搅乱がなく、プラズマ密度の経時変化や均一性を、プラズマに非接触で測定することが可能となるという効果がある。また、本発明によれば、装置が大型にならず、製造装置への搭載が容易である。特にプラズマ処理装置および方法にこれを採用することで、より適切なプラズマ処理が可能となる。

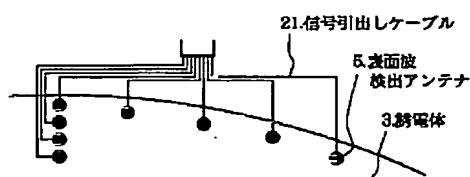
### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例に係るプラズマ密度計測装置の測定原理を模式的に示した断面図である。

〔図1〕



(☒ 3)



【図2】 本発明の実施例に係るプラズマ密度計測装置の表面波検出アンテナの詳細な構造を示した側面図である。

【図5】 従来技術であるラングミュアプローブを用いたプラズマ密度測定原理を模式的に示した図である。

【図7】 本発明の他の実施例に係るプラズマ処理装置の説明図である。

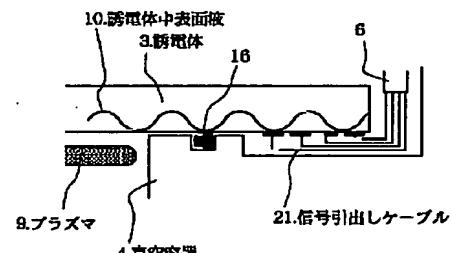
【符号の説明】

1 : 環状導波管、2 : スロットアンテナ、3 : 誘電体、  
4 : 真空容器、5 : 表面波検出アンテナ、6 : 同軸ケー

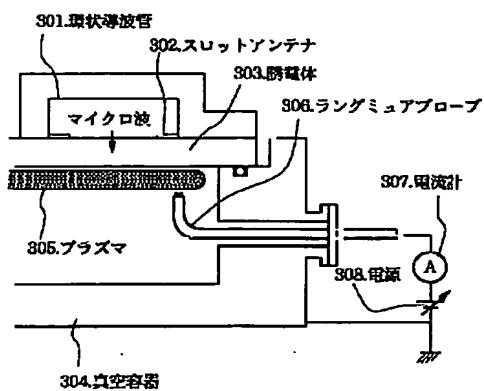
• 100 •

ブル、7：電圧減衰器、8：オシロスコープ、9：プラズマ、10：誘電体中表面波、11：プラズマ中表面波、13：窓、16：Oリング、21：信号引出しケーブル。

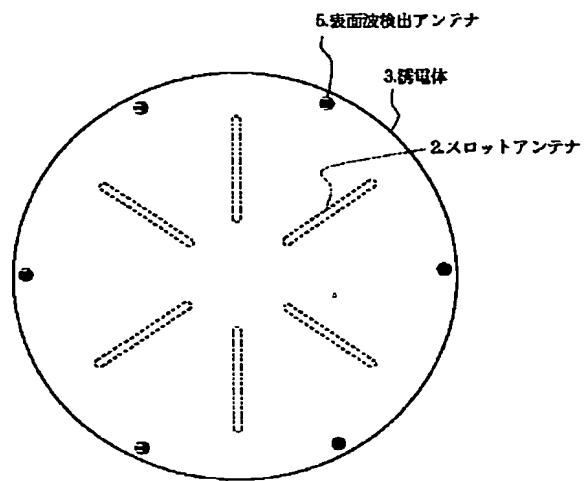
[図2]



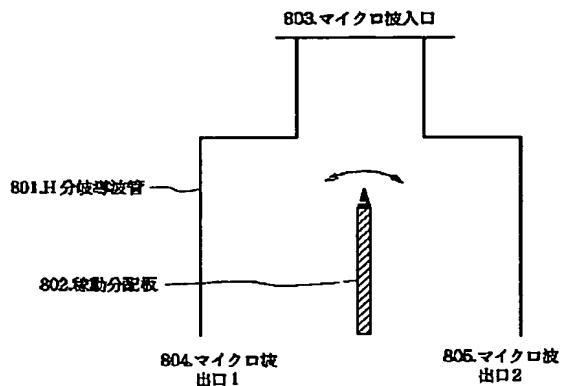
[ 5 ]



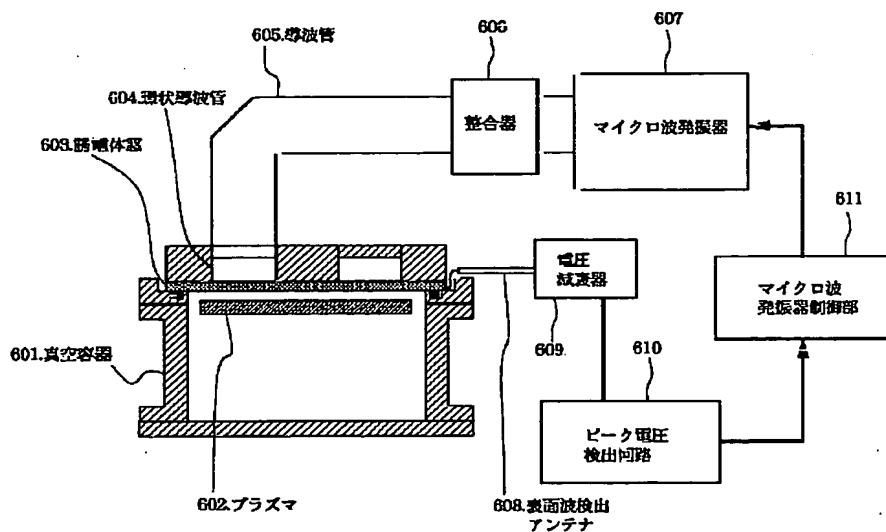
【図4】



【図8】



【図6】



【図7】

